

ZÁRT VÍZSZINTES ALAPÚ INERCIÁLIS NAVIGÁCIÓS RENDSZEREK

Jelen cikk a Repüléstudományi Konferencia 2009 Szolnok 50 év hangsebesség felett a Magyar légtérben megjelent „Nyitott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” [1] egyenleteit és ábráit felhasználva a zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszereket mutatja be.

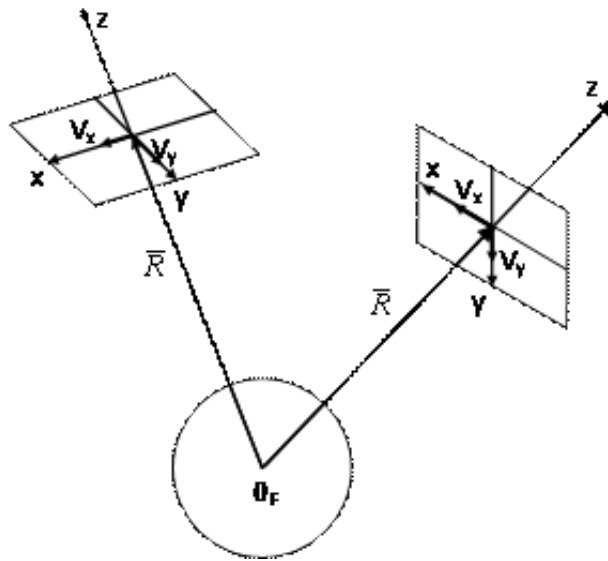
A nyitott inerciális navigációs rendszerekben, amelyek a vízszintes koordináta-rendszerben működnek (az alap, amelyen az axelerométerek voltak), a vízszintes síkban stabilizálódott a rajta elhelyezett axelerométerek mutatóinak használata nélkül, valamilyen fedélzeti függőlegesek segítségével.

Ehhez, mint azt láttuk a \vec{g} vektor figyelembe vétele vezetett.

A zárt inerciális navigációs rendszerben, amelyek a vízszintes koordináta rendszerben működnek, amikor a \vec{g} vektorról semmiféle információ a különféle fedélzeti műszerekről nem feltételeződik, a \vec{g} vektor kompenzálása a vízszintes síkban az alap stabilizálásával, az axelerométerek mutatóinak segítségével történik, amelyek magán az alapon vannak elhelyezve.

Lehetséges-e ilyen stabilizáció? Megmutatjuk, hogy lehetséges. Először megmagyarázzuk az ilyen stabilizáció lényegét a zárt inerciális navigációs rendszerek példáján, amely vízszintesen azimutálisan szabad koordináta-rendszerben működik.

Legyen az azimutálisan szabad alap a kezdeti időpillanatban vízszintes. Továbbá az objektum mozogjon V_x és V_y sebességgel az x és y tengelyek mentén. (1. ábra)



1. ábra.

Ha valamilyen úton módon az alapot elfordítjuk az x tengely körül

$$\omega_x(t) = -\frac{V_y(t)}{R} \quad (1)$$

szögsebességgel és az y tengely körül

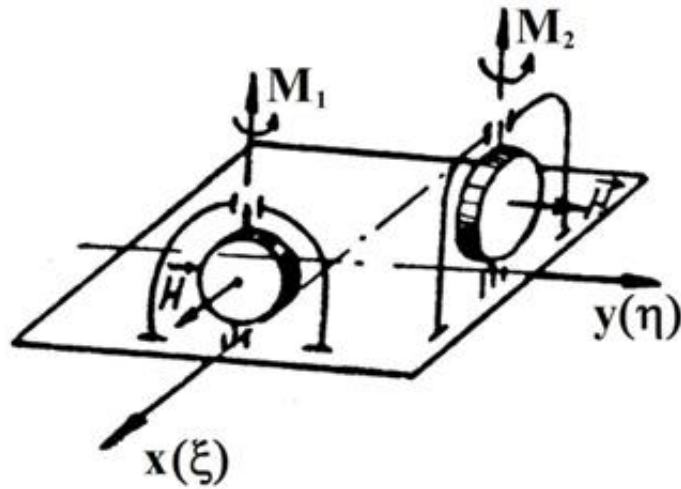
$$\omega_y(t) = -\frac{V_x(t)}{R} \quad (2)$$

szögsebességgel, akkor az alap továbbra is vízszintes marad (1. ábra)

A szükséges szögsebesség értékek kiszámítása az alap elfordulásával (1), (2) egyenletekből a V_x és V_y jelekkel egyetértve, amelyeket az axelerométerek $w_x(t)$ és $w_y(t)$ mutatóinak integrálásával a V_{x0} és V_{y0} kezdeti feltételek alapján lehet meghatározni.

A gyakorlatban hogyan lehetséges az alap elfordulását a kiszámított szögsebességekből $\omega_x(t)$ és $\omega_y(t)$ megvalósítani?

Nagyon egyszerű, ilyen elfordulásokat kétszabadságfokú pörgettyű segítségével lehet megvalósítani, amelyek az alapon úgy vannak elhelyezve, mint ahogyan azt a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra.

Ha a pörgettyű körül M_1 és M_2 nyomatékkal hatunk, amely a repülőgépen háromszabadságfokú kardánfelfüggesztésben van elhelyezve, részt vesz a pörgettyű precessziós mozgásában

$$\omega_x = \frac{M_2}{H} \quad (3)$$

$$\omega_y = -\frac{M_1}{H} \quad (4)$$

szögsebességgel.

Ha M_1, M_2 -t az ismert V_x és V_y alapján hozzuk létre, akkor

$$M_1(t) = -kV_x(t) = -k\left(V_{x0} + \int_{t_0}^t w_x(\tau) d\tau\right) \quad (5)$$

$$M_2(t) = -kV_y(t) = -k\left(V_{y0} + \int_{t_0}^t w_y(\tau) d\tau\right) \quad (6)$$

és a k arányossági tényezőt a $\frac{k}{H} = \frac{1}{R}$ feltételből határozzuk meg:

$$k = \frac{H}{R} \quad (7)$$

akkor a (3) - (7) egyenletekből kapjuk, hogy az alap szögelfordulásának forgása:

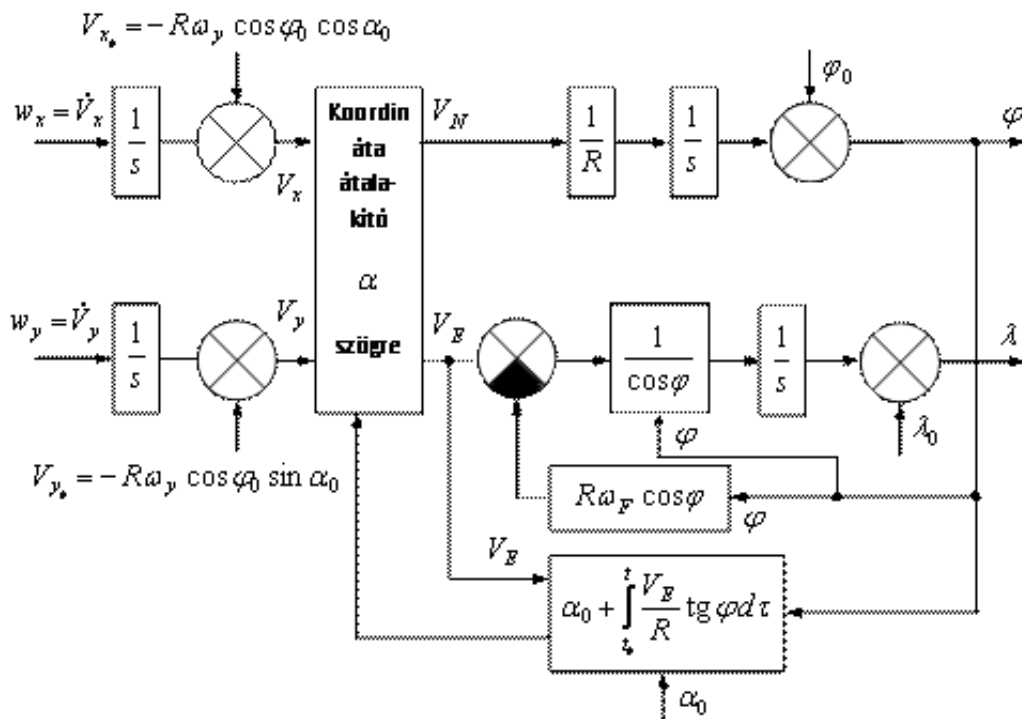
$$\omega_x(t) = -\frac{V_y(t)}{R}; \quad \omega_y(t) = -\frac{V_x(t)}{R} \quad (8)$$

összehasonlítva a (1) és (2) egyenleteket a (8) egyenlettel azt kapjuk, hogy az ilyen alap mindig vízszintes marad. A (7) kifejezést Schuler-feltételnek nevezzük.

Tehát a következő eredményt kaptuk: Legyen egy pörgettyűs alap, amely a 2. ábrán látható. Ha elhelyezünk rajta két axelerométert és a giroszkópok tengelyeire nyomatékokat rakunk, amely az integrállal arányos és az axelerométerek mutatásától a sebesség kezdeti feltételeinek figyelembe vételével, akkor abban az esetben, ha az arányossági tényező eleget tesz a Schuler feltételnek, az alap, amely a kezdeti időpillanatban vízszintes helyzetben van, vízszintes is marad a repülőgép maradék mozgása során.

Ebben az esetben a vízszintesen azimutálisan szabad alapon elhelyezett axelerométerek jelzése a $w_x = \dot{V}_x; w_y = \dot{V}_y; w_z = g - \frac{V}{n} = g'$ egyenlet alapján:

$$w_x(t) = \dot{V}_x(t); w_y(t) = \dot{V}_y(t) \quad (9)$$



3. ábra

Nyitott vízszintes alapú azimutálisan szabad inerciális navigációs rendszerhatásvázlata [3]
 [Szerk.: Dr. Békési Bertold – MS Word]

Ha ezeket a jeleket bevezetjük a 3. ábrán látható számítógépszerű egységbe, akkor meghatározható a repülőgép sebessége és a földrajzi koordinátái. Az ilyen inerciális rendszer egyértelműen zárt lesz. Mi is tehát a különbség a nyitott vízszintes azimutálisan szabad inerciális navigációs rendszertől? Az eltérés a következő:

- az alap vízszintesben tartásához külső jelzést használ fel (nyitott inerciális navigációs rendszer);
- az axelerométerek jelzéseit használja fel a vízszintesben tartásra (zárt inerciális navigációs rendszer).

Tárgyaljuk meg a kapott eredményt:

Először a giroinerciális alap vízszintes marad az objektum bármilyen pályájú mozgása során. Ilyen esetben azt mondják, hogy a giroinerciális alap ballisztikusan stabilis. Ez a sajátossága a giroinerciális alapnak. Elemezhetjük mint előnyt, összehasonlítva a műhorizontokkal és a pörgettyűs mesterséges műfüggőlegesekkel, sugárirányú helyesbítéssel, amelyek az objektum manőverezése során igen nagy hibával rendelkeznek.

Másodsorban, a zárt giroinerciális navigációs koordináta rendszer folyamatosan méri és számítja az objektum olyan fontos mozgási paramétereit, mint a gyorsulás, a sebesség és a koordináták. Mindezek a mérések teljesen autonóm módon mennek végbe, vagyis nem igényelnek semmilyen földi berendezést, amelyek ezt a munkát biztosítanák. Innen származik a zárt inerciális navigációs rendszer teljes zavarvédelme.

Ha a zárt inerciális navigációs rendszer működési elvének vizsgálatok a figyelmünket mi csak a giroinerciális rendszerek olyan mozgására fordítottuk, amikor a kezdeti időpillanatban az alap vízszintes volt és minden kezdeti feltétel abszolút helyesen volt bevezetve, tehát csak a rendszer zavarvédett mozgása volt megvizsgálva.

Felmerül a kérdés, hogyan fog mozogni a rendszer, ha a kezdeti időpillanatban az alap nem volt vízszintes és a kezdeti feltételek hibával voltak bevezetve? Tehát felmerül a stabilitás működésének kérdése is a zárt giroinerciális navigációs rendszerekben.

Ezenkívül nagyon fontos megvizsgálni a giroinerciális rendszerek hibáit, amelyek az elemek szerkezeti hibájából lépnek fel:

- a pörgettyűk eltávoztása az alaptól;
- az integrátorok hibái.

És végezetül megemlíteném, hogy mi csak a zárt vízszintes azimutálisan szabad giroinerciális navigációs rendszert vizsgáltuk.

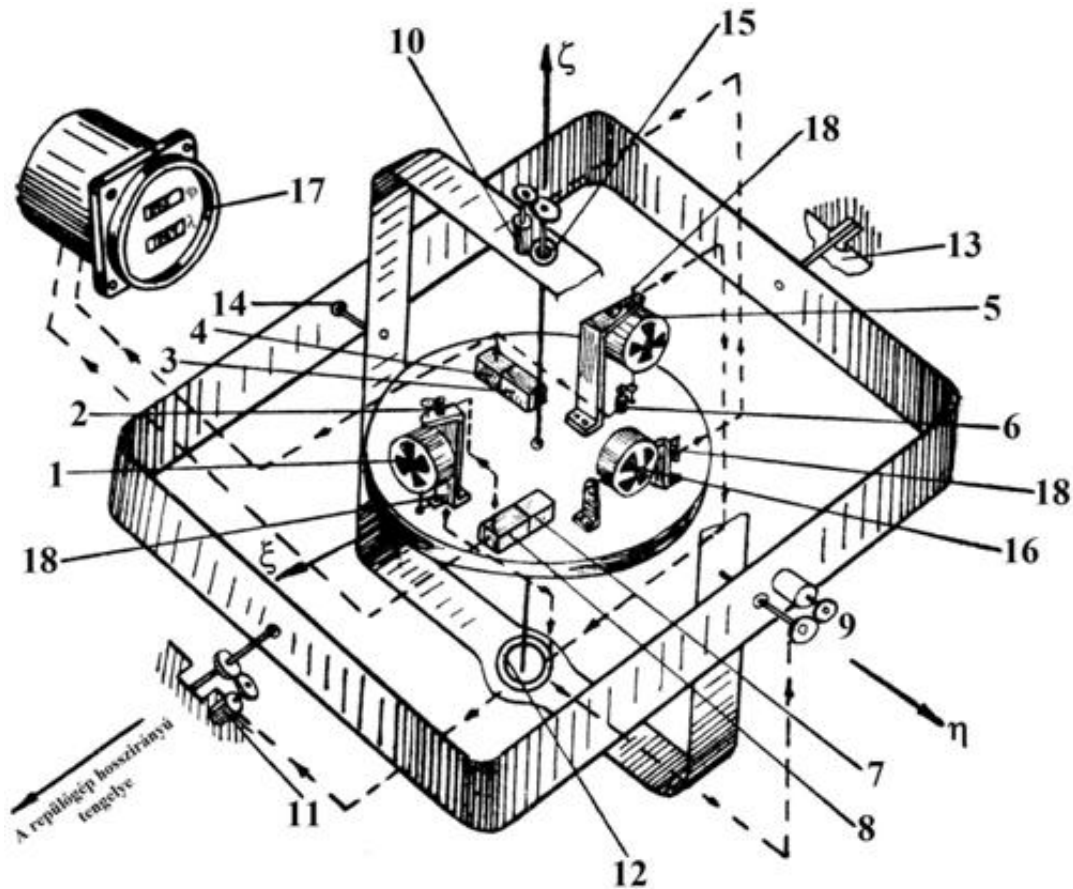
Fontos megvizsgálni a zárt giroinerciális navigációs rendszereket más típusú alapokkal is. Ezenkívül lehetséges olyan zárt inerciális navigációs rendszer, amikor az axelerométerekkel, szögsebességekkel (1), (2) egyenletek az alap elfordulásának szükségessége nem a giroszkópok segítségével történik, hanem a teleszkópos berendezések segítségével, amelyek a csillagokra vannak irányítva. Az ilyen zárt inerciális navigációs rendszereket asztroinerciális rendszereknek nevezzük.

Mindezen kérdésekre majd később válaszolunk. Ezen cikk befejezésekor bemutatom a zárt inerciális rendszert azimutálisan szabad alappal (4. ábra).

Az alap kardánfelfüggesztésben van elhelyezve. Ennek következtében a kardánfelfüggesztés külső keretének tengelye egybeesik a repülőgép hosszirányú tengelyével, a belső keret tengelye vízszintes és az alap tengelye függőleges. A kardánfelfüggesztés tengelyének csak ilyen elhelyezése teszi lehetővé a repülőgép bedöntési (γ), bólintási (ϑ) és irányszög (ψ) kardánhibák nélküli mérését.

A bedöntési, bólintási és irányszögek a 4. ábrán 13, 14, és 15 jelölik. Megjegyezzük, hogy az ilyen alapot nem lehet elhelyezni a repülőgépen korlátlan manőverező képességgel. Ahhoz, hogy elhelyezhessük az alapot a repülőgépen, a külső keretet egy követő keretbe kell elhelyezni, amelynek tengelye egybe kell, hogy essen a repülőgép hosszirányú tengelyével. A γ (13), ϑ (14) és ψ (15) adók a kardánfelfüggesztés tengelyein vannak elhelyezve.

Az alapon elhelyezett (1 és 5) pörgettyűk az alapot a vízszintes síkban tartják meg és a (16) iránypörgettyű az alap azimutális helyzetét vezérli. Ha az iránypörgettyű nem kerül helyesbítésre, akkor azimutálisan szabad lesz és az alap szintén azimutálisan szabad lesz. A (3, 7) axelerométerek jelzései a (4, 8) integráló berendezések integrálása után az (1, 5) pörgettyűk (2, 6) nyomatékmotorjaira kerülnek. A csatorna erősítési tényezőjét az axelerométertől a pörgettyű nyomatékmotorjáig a Schuler feltételből állapítjuk meg.



4. ábra

Zárt inerciális rendszer azimutálisan szabad alappal [3]

Az alap valamennyi tengelye mentén (3 tengely) tehermentesítve van. A tehermentesítő rendszer részei:

- 3 db szöghelyzetadó (18);
- sinus-cosinus koordináta átalakító (12);
- végrehajtó tehermentesítő motorok (9, 10, 11);
- az integrátorok jelzései, amelyek a sebesség értékével egyenlőek $V_x(t), V_y(t)$ a (17) megoldó egységbe kerülnek, amely a 3. ábrán látható;
- a megoldó egység a repülőgép földrajzi koordinátáinak φ és λ kiszámítását végzi.

Még egyszer összefoglalva:

- a giroinerciális alap kiváló girofüggőleges, amely nem rendelkezik ballisztikus deviációval (bármilyen mozgáspályán vízszintes marad);
- teljesen autonóm, vagyis nem igényel földi eszközöket, amelyek biztosítanák a munkát. Ebből következik a zárt inerciális navigációs rendszer teljes zavarvédeltsége.

A vizsgált rendszer előnyei:

- kiválóan alkalmas a γ, ϑ, ψ kardánhibák nélküli szögmeghatározásra;
- a giroinerciális rendszer lehetővé teszi majdnem minden fedélzeti-navigációs paraméter mérését: bedöntés, bólintás, irányszög, útsebesség és a koordinátákat.

A vizsgált rendszer hátránya:

- az objektum koordinátáinak mérési hibái az inerciális rendszer működési idejének függvényében növekednek.

¹ Repüléstudományi Konferencia 2009 Szolnok 50 év hangsebesség felett a Magyar légtérben megjelent „Nyitott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk alapján.

² Repüléstudományi Konferencia 2009 Szolnok 50 év hangsebesség felett a Magyar légtérben megjelent „Nyitott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 2. ábrája alapján.

³ A repüléstudományi Közlemények 2008/3 számában megjelent Inerciális navigációs rendszerek II. cikkben részletesen elemezve.

Felhasznált irodalom

[1] Dr. Békési Bertold: Inerciális navigációs rendszerek II. Repüléstudományi Közlemények On-line folyóirat, Szolnok, 2008/3 szám. HU ISSN 1789-770X

[2] Dr. Békési B. — Dr. Szegedi P. Nyitott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek. Repüléstudományi Közlemények különszám, Szolnok, 2009. április 24.

[3] В. А. Вериге, Ф. С. Гергель: Пилотажно-навигационные приборы и измерительные системы. Ленинградская Краснознаменная военно-воздушная инженерная академия имени А. Ф. Можайского, Ленинград, 1959.

[Vissza a tartalomhoz >>>](#)